

УДК 504.3.054 (571.53)

На правах рукописи



Ахтиманкина Анастасия Владимировна

**ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ
ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань – 2017

Работа выполнена на кафедре гидрологии и природопользования
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

Научный руководитель:

Аргучинцева Алла Вячеславовна

доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой гидрологии и
природопользования географического
факультета;
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Официальные оппоненты:

Кузнецова Ирина Николаевна

доктор географических наук, заведующая
лабораторией метеорологических условий
загрязнения и радиационного мониторинга;
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Шкляев Владимир Александрович

кандидат географических наук, доцент
кафедры метеорологии и охраны
атмосферы;
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский
университет»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Лимнологический
институт Сибирского отделения Российской
академии наук

Защита диссертации состоится 1 июня 2017 г. в 15⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета Д212.081.20 в Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5, Институт экологии и природопользования КФУ, ауд. 315.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского (Приволжского) федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваши отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843)2337867. E-mail: laotdel@kpfu.ru

Автореферат разослан «20» апреля 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



Н.А. Важнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий охватывает значительные по площади территории, от городов и городских агломераций до целых регионов. Остро стоит проблема загрязнения атмосферного воздуха и в Иркутской области – регионе, являющемся индустриальным центром Восточной Сибири. Обладая значительными запасами природных ископаемых, Иркутская область занимает лидирующие позиции среди других регионов Сибирского федерального округа в химическом и металлургическом производстве, машиностроении, добыче полезных ископаемых, производстве электроэнергии, алюминия, целлюлозы. Такое разнообразие производственных отраслей, присутствующих на территории области, отражается и на разнообразии оказываемого воздействия на окружающую среду, и в первую очередь, на атмосферный воздух.

Согласно статистическим данным, ежегодно публикуемым Министерством природных ресурсов, Иркутская область занимает девятое место (по данным за 2014 г.) среди остальных 84 субъектов РФ по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (825 тыс. т), уступая по этому показателю Красноярскому краю, Кемеровской и Свердловской областям и ряду других субъектов. Стоит отметить, что на протяжении последних шестнадцати лет наибольшая часть выбросов приходится на стационарные источники (более 77 %), выбросы же от передвижных источников составляют чуть более 20 % от общего объема поступающих в атмосферу загрязняющих веществ.

Наиболее экологически неблагополучными являются крупные промышленные центры области, такие как Иркутск, Ангарск, Братск, Шелехов, Зима. Данные населенные пункты на протяжении более 10 лет ежегодно входят в Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения, формируемый по величине индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

В связи с этим важным является вопрос диагностики и прогнозирования уровней атмосферного загрязнения с целью разработки рекомендаций по совершенствованию производственных технологий и принятию необходимых мер по снижению нагрузки на атмосферу. Особое внимание следует уделять основному источнику поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории Иркутской области – стационарным источникам промышленных предприятий.

В настоящее время наблюдения за содержанием загрязняющих веществ ведутся на постах слежения за состоянием атмосферного воздуха. Получаемые в ходе выполняемой измерительной кампании результаты не дают полной картины загрязненности воздуха, поскольку представляют лишь значения концентраций отдельных компонентов состава воздуха при ограниченном числе наблюдений, либо в локальной точке местности.

Кроме регулярных систематических наблюдений, выполняемых в рамках мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Иркутской области, существует

ряд исследований, посвященных изучению загрязнения воздушного бассейна либо отдельными крупными промышленными объектами, либо направленных на оценку загрязнения путем исследования химического состава атмосферных выпадений.

Наиболее показательным для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха, по мнению автора, является расчет абсолютных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, а также определение (с учетом климатических особенностей местности) продолжительности воздействия на окружающие ландшафты и население опасных концентраций примесей.

Цель работы: оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого выбросами стационарных источников предприятий промышленных центров Иркутской области с учетом климатических факторов, влияющих на рассеяние и накопление загрязняющих веществ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- сформировать базу данных 8-срочных многолетних наблюдений, проводимых на гидрометеорологических станциях Иркутской области; провести их статистическую обработку;
- рассчитать устойчивость ветровых характеристик;
- построить климатические эллипсы рассеяния;
- сформировать базу инвентаризационных данных стационарных источников промышленных предприятий;
- рассчитать абсолютные концентрации загрязняющих веществ;
- рассчитать частоту превышения санитарно-гигиенических нормативов, установленных для загрязняющих веществ;
- построить карты-схемы изолиний абсолютных концентраций загрязняющих веществ;
- построить карты-схемы изолиний частот превышения гигиенических нормативов загрязняющих веществ;
- проанализировать динамику концентраций, фиксируемых на пунктах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на территории Иркутской области;
- провести сравнительный анализ расчетных и натурных данных, характеризующих уровень атмосферного загрязнения.

Фактический материал. Диссертация основана на данных 8-срочных многолетних (1995-2014 гг.) наблюдений за температурой и вектором скорости ветра 22 гидрометеорологических станций. Для расчетов уровней загрязнения атмосферного воздуха используются данные инвентаризации 20 000 стационарных источников предприятий промышленных центров Иркутской области: взаимное расположение источников (координаты), высота источника (трубы), радиус устья источника, температура и скорость выхода газозвушной смеси (ГВС), интенсивность (мощность) источника. Расчет проводится по 100 наименованиям загрязняющих веществ. Для верификации полученных в результате расчета данных используются данные натурных наблюдений с пунктов слежения за загрязнением

атмосферы, расположенных на территории городов Иркутск и Шелехов за период 2000-2015 гг. и 2008-2015 гг. соответственно.

Методы исследования. Для обработки временных рядов метеорологических данных использованы методы математической статистики. В частности, для подготовки данных в качестве входных в модели расчета уровней загрязнения атмосферы использовался расчет характеристик положения и разброса.

Расчет абсолютных концентраций загрязняющих веществ осуществлялся с использованием стандартной эмпирической модели, основанной на методике ОНД-86 и реализованной программным комплексом «Эколог». Для нахождения частот превышения гигиенических нормативов загрязняющих веществ применялась полуэмпирическая математическая модель, учитывающая климатические особенности местности и основанная на аналитическом решении уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси с замыканием на интегральную функцию распределения двумерного вектора скорости ветра.

Метод статистического анализа данных концентраций, полученных на постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, позволил выявить посты с наибольшей частотой повторяемости превышения санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, а также проанализировать динамику усредненных и максимальных концентраций на территории Иркутска и Шелехова.

Для графического представления результатов исследования использовались программные пакеты Surfer, Quantum GIS, AutoCAD.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые для территории Иркутской области на основе данных многолетних метеорологических наблюдений (1995-2014 гг.) построены климатические эллипсы, характеризующие рассеяние компонентов вектора скорости ветра и определяющие основные направления переноса загрязняющих веществ в атмосфере;
- впервые на основе современных данных о действующих стационарных источниках предприятий промышленных центров, в целом для территории Иркутской области, проведен расчет абсолютных концентраций загрязняющих веществ и частот превышения гигиенических нормативов;
- на основе полученных результатов составлены карты изолиний абсолютных концентраций загрязняющих веществ и частот превышения гигиенических нормативов для территории Иркутской области;
- впервые проведен анализ репрезентативности существующей схемы расположения постов наблюдения за загрязнением атмосферы, с точки зрения однородности получаемых в ходе натурных наблюдений данных и возможности оценки вклада стационарных источников в загрязнение воздушного бассейна.

Практическая значимость работы заключается в использовании материалов исследования Управлением экологии Комитета городского обустройства администрации г. Иркутска для принятия конструктивных мер по улучшению экологической обстановки г. Иркутска; ФГБУН «Институт географии им В.Б. Сочавы» СО РАН для составления экологических атласов г. Иркутска и озера Байкал;

ЗАО «Восточно-Сибирский трест инженерно-строительных изысканий» для анализа уровней загрязнения атмосферного воздуха в районах проведения инженерно-экологических изысканий; а также Иркутским государственным университетом для подготовки лекционных курсов по дисциплинам: «Экологический мониторинг», «Промышленная экология», «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды», что подтверждено актами о внедрении.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Климатические условия Иркутской области в зимний период не благоприятствуют рассеянию выбросов, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников промышленных предприятий, наиболее благоприятными для рассеяния являются весенние месяцы, что подтверждается моделированием климатических эллипсов рассеяния.

2. На селитебных территориях Иркутской области концентрации ряда загрязняющих веществ в 10-20 раз превышают установленные для них нормативы, что подтверждается расчетами по эмпирической математической модели и картированием территории исследования по величине абсолютных концентраций.

3. Продолжительность воздействия на живые организмы загрязняющих веществ, концентрации которых превышают гигиенические нормативы, достигает 600-700 часов в месяц, что подтверждается расчетами по полуэмпирической математической модели и картированием территории исследования по частоте превышения гигиенических нормативов.

4. Существующая схема расположения постов слежения за загрязнением атмосферного воздуха на территории области осложняет выявление вклада стационарных источников в загрязнение атмосферного воздуха, контроль полноты выполнения мероприятий при неблагоприятных метеорологических условиях, а также нарушений в соблюдении установленных для предприятий предельно-допустимых выбросов, что подтверждается исследованием однородности натуральных данных и сравнительным анализом с результатами расчета.

Достоверность полученных результатов обоснована:

- большими массивами используемых данных 8-срочных метеорологических наблюдений (1995-2014 гг.), обеспечивающих устойчивость климатических характеристик по рассматриваемым сезонам;

- применением в исследовании двух апробированных моделей: 1) эмпирической модели (на основе ОНД-86); 2) математической модели, основанной на решение уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси с замыканием на интегральную функцию распределения двумерного вектора скорости ветра;

- установлением качественной и количественной близости расчетных характеристик с имеющимися данными натуральных наблюдений пунктов слежения за загрязнением атмосферного воздуха;

- научными публикациями и актами о внедрении.

Вклад автора. Автором создан массив данных 8-срочных наблюдений 22 гидрометеорологических станций Иркутской области за период 1995-2014 гг., проведена их статистическая обработка, по результатам которой сделаны выводы

о рассеивающей способности атмосферы рассматриваемой территории. Создана база инвентаризационных данных стационарных источников промышленных предприятий, расположенных на территории Иркутской области. По математическим моделям проведены расчеты: 1) абсолютных концентраций ингредиентов; 2) продолжительности воздействия на окружающую среду превышающих нормативы поллютантов. На основе полученных данных проведено картирование территории исследования по уровню загрязнения воздушного бассейна. Проведен сравнительный анализ полученных расчетных данных с данными, фиксируемыми на постах слежения за загрязнением атмосферы. Автором лично получены все основные практические результаты работы.

Апробация работы. По теме диссертации опубликованы 23 работы, 6 из них – в журналах из списка ВАК, 2 – в журнале Scopus.

Отдельные результаты диссертации докладывались на 19 российских и международных конференциях, среди которых:

1. I Международная научно-практическая конференция «Глобальное изменение в современной науке и образовании» (Ростов-на-Дону, 2011);

2. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ аспирантов в области наук о Земле (Томск, 2012);

3. VII школа-семинар молодых ученых России «Проблемы устойчивого развития региона» (Улан-Удэ, 2013);

4. XXVI Международная научно-практическая конференция «Экология. Производство. Общество. Человек» (Пенза, 2014);

5. Международная научно-практическая конференция «Инновационная наука и современное общество» (Уфа, 2015);

6. VII Международная российско-германская летняя школа «Ecology of large water bodies and their watersheds» («Экология крупных водоемов и их водосборных бассейнов») (Иркутск, 2015);

7. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM «The 16th Geoconference on energy and clean technologies» (Болгария, 2016).

Работа получила поддержку 11 грантов, среди которых:

1. Грант 2012-09-01 для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов и молодых сотрудников ИГУ «Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска», 2012 г.;

2. Грант 091-14-220 для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов и молодых сотрудников ИГУ «Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями, расположенными на территории Иркутской агломерации», 2014 г.;

3. Грант РФФИ 16-35-00185 Моделирование распространения антропогенных примесей, поступающих от стационарных источников промышленных предприятий Иркутской области в атмосферный воздух, 2016-2017 гг.

Автором получено 4 акта о внедрении результатов диссертационного исследования, выданных ЗАО «ВостСибТИСИЗ», Управлением экологии комитета городского обустройства администрации г. Иркутска, ФГБУН Институт географии

им. В.Б. Сочавы СО РАН, ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет».

Структура диссертации. Работа состоит из введения, трех глав с выводами к каждой главе, заключения, списка литературы и приложения. Содержит 183 страницы текста, включая 40 таблиц, 57 рисунков и список литературы – 198 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Первая глава посвящена обзору литературы по теме исследования, освещающей существующие подходы к определению способности атмосферы к самоочищению, нормированию качества атмосферного воздуха, а также методы моделирования загрязнения воздушного бассейна.

В разделе 1.1 проведен краткий обзор существующих работ в области исследования загрязнения атмосферного воздуха. Особо отмечены работы М.Е Берлянда, Э.Ю. Безуглой, Л.Р. Сонькина, Ю. А. Израэля, Г.И. Марчук, А.Е. Алоян, В.В. Пененко, являющиеся основой для современных исследований загрязнения воздушного бассейна. Также акцентировано внимание на региональных исследованиях, выполненных В.К. Аргучинцевым, А.В. Аргучинцевой, О.В. Сташок, О.Г. Нецветовой, И.И. Маринайте, Е.В. Чипаниной, Т.В. Ходжер, В.А. Оболкиным, В.Л. Потемкиным, В. Л. Макухиным. Однако работы, выполненные для территории Иркутской области, освещают вопрос загрязнения атмосферного воздуха либо с точки зрения анализа химического состава атмосферных выпадений, либо выполнены для отдельных промышленных предприятий.

Раздел 1.2 посвящен существующим подходам к нормированию качества атмосферного воздуха в России и ряде зарубежных стран, среди которых: Австралия, Бразилия, Канада, Китай, страны Европейского союза, Индия, Япония, Мексика, Южная Корея, Тайланд, США. В настоящее время в мировой практике наряду с санитарно-гигиеническими критериями качества атмосферного воздуха устанавливаются предельные концентрации для растительности, учитывается назначение территорий (промышленные, особо охраняемые и т.д.). В Российской Федерации в основном используется санитарно-гигиеническое нормирование, определяющее значения концентраций, допустимых для человека, а сами нормативы распространяются на всю территорию России без учета региональных особенностей, уровня развития промышленности на данной территории, климатических условий местности, существующей экологической обстановки, наличия особо охраняемых территорий.

В разделе 1.3 рассмотрены подходы, применяемые для оценки самоочищающей способности атмосферы. Отмечен вклад В.В. Крючкова, Э.Ю. Безуглой, А.В. Григорьяна, С.Н. Степаненко в разработку методов расчета потенциала загрязнения атмосферы; Т.С. Селегей, Ю.В. Русанова, О.С. Визенко, Л.П. Сорокиной, Л.М. Фетисовой – методов расчета потенциала самоочищения атмосферы; И.Н. Кузнецовой разработавшей классификацию способности атмосферы к самоочищению на основе метеорологического параметра загрязнения и прогноза не-

благоприятных метеорологических условий. Однако часть существующих методов оценки способности атмосферы к самоочищению не прошли апробацию на территории Иркутской области в силу сложности орографии, оказывающей влияние на ветровые характеристики, в результате чего на фоне крупномасштабного переноса возникают местные циркуляции воздушных масс, которые в свою очередь оказывают воздействие на накопление и рассеяние примесей. Поэтому при анализе самоочищающей способности важным является применение вероятностно-статистических методов обработки климатических данных, влияющих на распространение загрязняющих веществ, и, в частности, полей скоростей ветра.

Раздел 1.4 освещает методы моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Особое внимание уделено различным группам моделей: эмпирическим, теоретическим и полуэмпирическим; рассмотрены их особенности, с точки зрения учета физических процессов, используемого математического аппарата. Большая часть существующих моделей позволяет рассчитать только средние, либо абсолютные, концентрации загрязняющих компонентов. Наряду с этим интерес представляет выявление продолжительности воздействия превышающих установленные нормативы концентраций поллютантов, с учетом метеорологических факторов и их флуктуаций в исследуемом районе, что планируется осуществить в данной работе.

Основные выводы по первой главе: Вопрос оценки качества атмосферы для территории Иркутской области остается актуальным с точки зрения нахождения абсолютных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и частот превышения санитарно-гигиенических нормативов. Среди существующих математических моделей расчета наиболее полно отвечают поставленным задачам эмпирические, позволяющие рассчитать абсолютные концентрации загрязняющих веществ и полуэмпирические модели, учитывающие диффузию примеси при переносе в атмосфере, с учетом ветровых характеристик, которые при условии сложности орографии обладают большой изменчивостью. В качестве приоритетного критерия качества атмосферного воздуха в данном исследовании следует принимать ПДК_{с.с.}, поскольку расчеты проводятся для селитебных территорий на основе данных о выбросах не мгновенных, а постоянно действующих стационарных источников промышленных предприятий.

Во второй главе рассматриваются материалы и методы исследования.

В разделе 2.1 освещаются особенности рельефа и климата территории исследования – Иркутской области. Отмечено, что вследствие неоднородности рельефа климатические факторы характеризуются территориальной изменчивостью, что влияет на накопление, рассеяние и перенос загрязняющих веществ.

В разделе 2.2 описываются методы исследования возможности атмосферы Иркутской области к самоочищению, путем моделирования рассеяния вектора скорости ветра. За основу взяты данные 8-срочных наблюдений метеостанций, расположенных на территории 22 населенных пунктов области за период с 1995 по 2014 гг. Для их обработки применяются методы математической статистики, в частности рассчитаны:

- средние значения компонентов вектора скорости ветра;
- средние квадратические отклонение компонентов вектора скорости ветра;
- средний результирующий вектор скорости ветра;
- средняя скалярная скорость ветра;
- коэффициент асимметрии компонентов вектора скорости ветра;
- эксцесс для каждой компоненты вектора скорости ветра;
- коэффициент корреляции между компонентами вектора скорости.

Отношение значения среднего результирующего вектора скорости (\bar{V}_r) к средней скалярной скорости (\bar{V}_s) дает характеристику, называемую устойчивостью ветра. Под устойчивостью ветра (q) понимается преобладание в данном районе одного направления ветра над другим. Чем ближе q к единице, тем больше устойчивость ветра. Устойчивость ветра по 22 станциям, расположенным на территории Иркутской области рассчитана с использованием следующей формулы:

$$q = \frac{\bar{V}_r}{\bar{V}_s}. \quad (1)$$

Для графического представления возможности атмосферы к самоочищению использовались эллипсы рассеяния, центром которого являются средние значения компонентов вектора скорости, а величины полуосей определяются значениями средних квадратических отклонений, отражающих рассеяние вокруг центра. Для эллипсов рассеяния рассчитан угол поворота относительно осей координат, эллиптичность, позволяющая определить в какой мере данное рассеяния векторов отлично от кругового, а также площадь эллипсов рассеяния.

В разделе 2.3 дана характеристика антропогенным источникам поступления загрязняющих веществ в атмосферу. Установлено, что большая часть выбросов (от 60 до 80 %) на территории Иркутской области приходится на стационарные источники промышленных предприятий. По состоянию на 2014 год в области насчитывается более 700 промышленных объектов и около 22 тысяч стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха.

Что касается распределения выбросов по городам Иркутской области, то первое место по количеству выбрасываемых в атмосферный воздух загрязняющих веществ занимает г. Ангарск (более 3 000 стационарных источников поставляют более 260 тыс. т загрязняющих веществ). На втором месте, по ежегодной массе выброса, находится г. Братск (около 500 стационарных источников, поставляющих более 110 тыс. т. поллютантов). Административный центр области – г. Иркутск занимает третье место по массе ежегодно выбрасываемых загрязняющих веществ. Количество стационарных источников составляет порядка 2 тыс., выброс от них составляет более 60 тыс. т.

Среди отраслей промышленности наибольшее количество выбросов приходится на производство и распределение электроэнергии, газа и воды; обрабатывающие производства; металлургические производства и производства готовых металлических изделий. Выброс от данных отраслей составил (в 2014 г.) 389,7 тыс. т., 195,5 тыс. т. и 113,1 тыс. т. соответственно. Поскольку основной вы-

брос от предприятий области приходится на объекты сферы энергетики, закономерным является тот факт, что в покомпонентном составе загрязняющих веществ преобладают продукты сгорания топлива, а именно: диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, углеводороды.

В диссертационной работе использовались инвентаризационные данные промышленных предприятий крупных промышленных центров области. Общее число учтенных в расчетах стационарных источников составило 20 000. Расчет проводился по более 100 загрязняющим веществам, выбрасываемым данными источниками.

В разделе 2.4 описаны используемые для расчетов математические модели. Для расчета абсолютных концентраций загрязняющих веществ используется эмпирическая модель на основе ОНД-86, являющейся утвержденной на государственном уровне и используемой при осуществлении нормативных расчетов, как на стадии проектирования, так и на этапах функционирования предприятий, имеющих источники поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Методика позволяет рассчитать максимальную приземную концентрацию загрязняющего вещества (мг/м^3 , доли ПДК):

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (2)$$

где A – безразмерный коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеяния вредных веществ в атмосферном воздухе; M (г/с) – количество вредного, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения вредных веществ в атмосферном воздухе; m , n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; H (м) – высота источника выброса над уровнем земли; V_1 ($\text{м}^3/\text{с}$) – поток газовой смеси; ΔT ($^\circ\text{C}$) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха.

Вторым методом является модель расчета частот превышения гигиенических нормативов загрязняющих веществ, путем нахождения частоты реализации ветров за интересующий интервал времени, способных привести к созданию концентраций, значения которых выше предельно-допустимых.

Модель основана на уравнении переноса и турбулентной диффузии примеси (3) и его аналитическом решении, предложенном М.Е. Берляндом (4).

$$\frac{\partial s}{\partial t} + v \frac{\partial s}{\partial x} + \nu \frac{\partial s}{\partial y} + (\omega - \omega_g) \frac{\partial s}{\partial w} + \alpha s = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial s}{\partial z} + f(x, y, z, t), \quad (3)$$

где s – концентрация примеси (мг/м^3), v, ν, ω – компоненты вектора скорости ветра, спроектированные на оси локальной декартовой системы координат x, y, z (оси x, y направлены по горизонтали, ось z – вертикально вверх) (м/с), t – время (с), ω_g – скорость гравитационного осаждения частиц (м/с), α – коэффициент распада при-

меси (c^{-1}), k_x, k_y, k_z - коэффициенты турбулентной диффузии по осям Ox, Oy, Oz соответственно (m^2/c), f - функция, описывающая источник примеси.

$$s = \frac{M(zH)^{\frac{1-m}{2}} z_1^m}{2\mu k_1 \sqrt{\pi k_0 x^2}} \exp \left[-\frac{y^2}{4k_0} - \frac{u_1 z_1^{2-\mu} (z_1^\mu + H^\mu)}{k_1 \mu^2 x} \right] \times I_{-\frac{1-m}{\mu}} \left[\frac{2u_1 z_1^{2-\mu} (Hz)^{\frac{\mu}{2}}}{\mu^2 k_1 x} \right] \quad (4)$$

где us - конвективный поток примеси, поступающий от источника в атмосферу, M - интенсивность источника, I - функция Бесселя мнимого аргумента, $\mu = 2+n-m$, n и m - безразмерные коэффициенты для интерполяции вертикального профиля скорости ветра и коэффициентов обмена, u_1 и k_1 соответственно скорость ветра и коэффициент турбулентного обмена по вертикали на высоте z_1 ; $k_0 = \text{const}$, имеющая размерность длины.

Таким образом, при наличии нескольких источников поступления загрязняющих веществ, концентрация примеси рассматривается как сумма уравнений (4). Далее эта сумма ограничивается нормативом, в нашем случае, им является ПДК_{с.с.} и рассчитывается максимальное значение модуля скорости (u_k) в каждой точке, для каждого направления ветра, при котором достигается критерий (ПДК_{с.с.}). В результате из множества всех решений выбираем то его подмножество, которое обеспечивает нарушение критерия, то есть отыскивается интервал $[0, u_k]$, при котором наблюдается превышение норматива.

Поведение вектора скорости ветра описывается теоретическим или эмпирическим законом. К примеру, можно воспользоваться нормальным законом распределения для описания поведения вектора скорости ветра:

$$f(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_v\sqrt{1-\Gamma^2}} \exp \left[-\frac{\xi_1^2 - 2\Gamma\xi_1\xi_2 + \xi_2^2}{2(1-\Gamma^2)} \right] \quad (5)$$

где $\xi_1 = \frac{(u-\bar{u})}{\sigma_u}$, $\xi_2 = \frac{(v-\bar{v})}{\sigma_v}$; \bar{u}, \bar{v} - средние значения компонентов вектора скорости ветра; σ_u и σ_v - средние квадратические отклонения для u и v ; Γ - коэффициент корреляции между u и v .

Проинтегрировав функцию плотности вероятности (5) по выделенному подмножеству скоростей ветра $[0, u_k]$ получаем функцию распределения вероятностей реализации ветров заданного направления, не превышающих по модулю критическое значение u_k или частоту превышения ПДК_{с.с.}.

Основные выводы по второй главе: территория Иркутской области характеризуется неоднородным, сильно расчлененным рельефом, что отражается на особенностях климатических условий, и, в первую очередь, ветровых характеристик, которые необходимо учитывать при исследовании распространения загрязняющих веществ. Совместное использование двух математических моделей позволит оценить уровень загрязнения атмосферы с точки зрения нахождения абсолютных концентраций и частот превышения гигиенических нормативов.

В третьей главе дана оценка атмосферному загрязнению, с точки зрения определения абсолютных концентраций загрязняющих веществ и частот превышения, установленных для них нормативов, с учетом климатических особенностей местности.

В разделе 3.1 представлены результаты расчета устойчивости ветровых характеристик. Наибольшей неустойчивостью ветер характеризуется в январе, исключение составляют станции Железногорск-Илимский ($q=0,8$), Мама ($q=0,7$), Киренск ($q=0,6$). На станции Железногорск-Илимский отмечено преобладание западного ветра, повторяемость которого в январе составляет 50 %, станции Киренск и Мама характеризуются преобладанием северо-западного направления, повторяемость которого 65 % и 60 % соответственно. В апреле наибольший коэффициент устойчивости ветра отмечен на станциях Нижнеудинск ($q=0,8$), Усолъе-Сибирское ($q=0,8$), Киренск ($q=0,7$), Черемхово ($q=0,7$), Саянск ($q=0,7$). Это свидетельствует о преобладании одного направления в данном районе, так, например, на станции Нижнеудинск в апреле преобладают северо-западные ветра, повторяемость которых составляет 32 %, на станции Киренск юго-западные, а на станции Черемхово – северо-западный, с повторяемостью 42 %. В июне наибольшая устойчивость ветра отмечена на станциях Усолъе-Сибирское, Усть-Илимск, Усть-Кут, Железногорск-Илимский. Стоит отметить, что на некоторых постах за все периоды (январь, апрель, июнь) ветер характеризуется неустойчивостью. К таким постам относятся Ангарск (в январе $q=0,4$, в апреле – 0,2, в июне – 0,1), Балаганск (в январе $q=0,2$, в апреле – 0,4, в июне – 0,3), Иркутск (в январе $q=0,3$, в апреле – 0,1, в июне – 0,1), Шелехов (в январе $q=0,3$, в апреле – 0,4, в июне – 0,3). Это объясняется преобладанием на данных территориях двух направлений ветра с приблизительно одной и той же скоростью: северо-западного и юго-восточного в Ангарске, Иркутске и Шелехове и северного и северо-западного в Балаганске.

Для графического представления возможности атмосферы к самоочищению использовались климатические эллипсы рассеяния (рис. 1, 2, 3). Согласно полученным данным в январе наиболее благоприятные условия для рассеяния загрязняющих веществ создаются в районе станций Мама, Киренск, Железногорск-Илимский, Тайшет, Балаганск и Черемхово. Эллиптичность рассеяния векторов скорости ветра практически во всех случаях незначительна, исключение составляют станции Балаганск, Жигалово, Иркутск, Тайшет, на которых коэффициент эллиптичности достиг значения 0,7. Стоит отметить, что на некоторых станциях эллипсы смещены от центра в направлении преобладающих ветров, например, в Иркутске эллипс рассеяния смещен в результате преобладания северо-западного направления ветра. В сравнении с эллипсами рассеяния в апреле (рис. 2) и июне (рис. 3) эллипсы в январе свидетельствуют о неудовлетворительных условиях для рассеяния загрязняющих веществ в данный период. В апреле наиболее благоприятные условия для рассеяния создаются в Черемхово, п. Мама, Железногорске-Илимском, Саянске, Тулуне, Балаганске, Киренске. Максимальная эллиптичность ($L=0,6$) отмечена в Иркутске, а также Балаганске, Жигалово, п. Мама, Черемхово, Шелехове ($L=0,7$). Также отмечено смещение эллипсов рассеяния от центра в направлении преобладающих ветров, данная картина наблюдается практически на всех станциях. Эллипсы рассеяния в июне (см. рис. 3) свидетельствуют о снижении рассеивающей способности атмосферы в этот период в сравнении с апрелем, в то же время степень рассеяния в июне выше, чем в январе. Наиболее благоприятные

ятные условия для рассеяния отмечены также в северных районах, на станциях Усть-Кут, Усть-Илимск, Мама, Киренск, а также в районе Тайшета и Балаганска. Максимум эллиптичности, согласно расчетам, отмечен на постах в Балаганске, п. Мама, Шелехово и Иркутске ($L=0,7$).

Наибольшие площади эллипсов рассеяния наблюдаются в апреле, месяц характеризующемся активизацией циклонической деятельности, сопровождающейся усилением скоростей ветра, в результате создаются наиболее благоприятные условия для самоочищения атмосферы. Далее по величине площади следуют эллипсы рассеяния ветрового потока в июне, когда модуль скорости ветра понижается в сравнении с апрелем. Минимальные же значения эллипсов рассеяния отмечены в январе, когда наблюдается наибольшая повторяемость штилей, следовательно, данный период особенно неблагоприятен для очищения атмосферы.

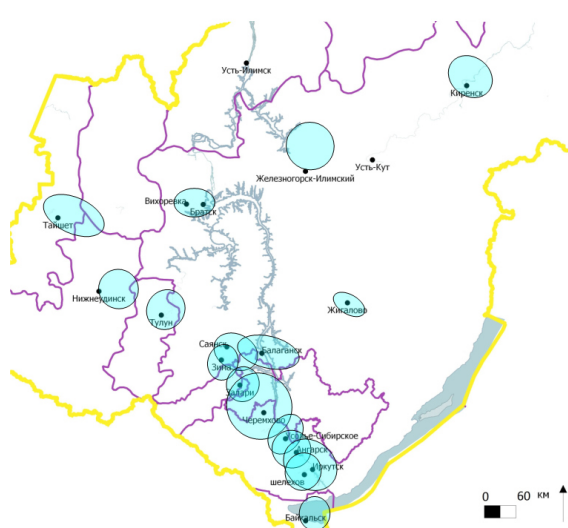


Рисунок 1 - Климатические эллипсы рассеяния ветрового потока на территории Иркутской области в январе

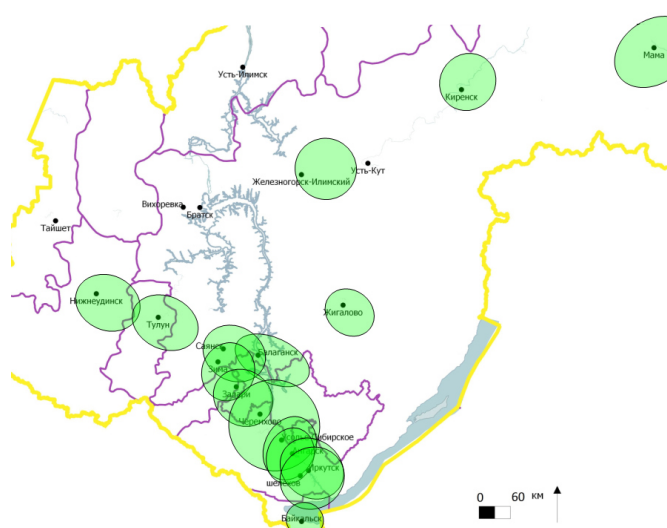


Рисунок 2 - Климатические эллипсы рассеяния ветрового потока на территории Иркутской области в апреле

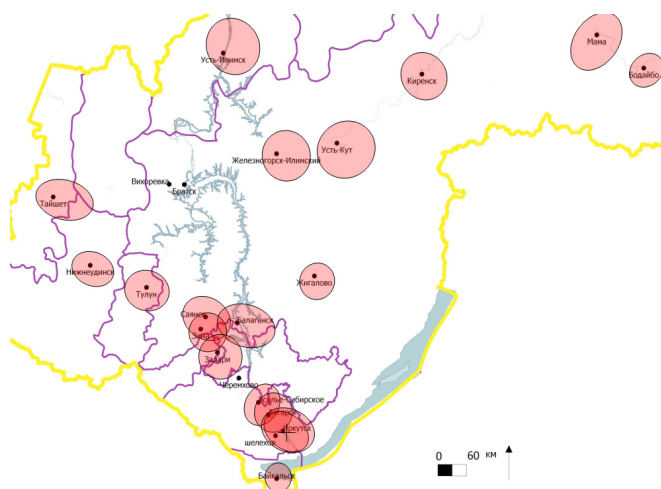


Рисунок 3 - Климатические эллипсы рассеяния ветрового потока на территории Иркутской области в июне

В разделе 3.2 даны результаты расчета абсолютных концентраций, с использованием эмпирической модели. Согласно расчетам, превышения выявлены по следующим веществам: диоксид азота, диоксид серы, сажа, неорганическая пыль с содержанием кремния 20-70 % и менее 20 %, оксид азота, бенз(а)пирен, мазутная зола, а также ряду специфических веществ. Представим отдельные результаты, в частности, по диоксиду азота. Согласно проведенным расчетам концентрации, превышающие нормативные значения, создаются на территории городов: Иркутск, Ангарск, Шелехов, Саянск, Зима, Усть-Илимск, Братск, Тулун, Железногорск-Илимский, Черемхово.

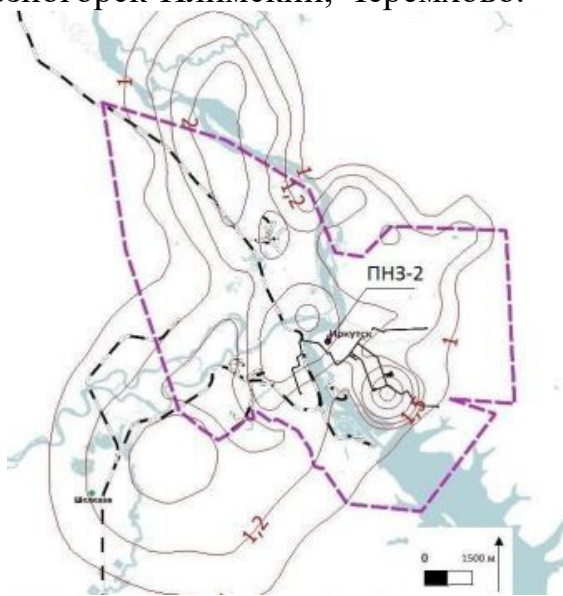


Рисунок 4 – Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Иркутска

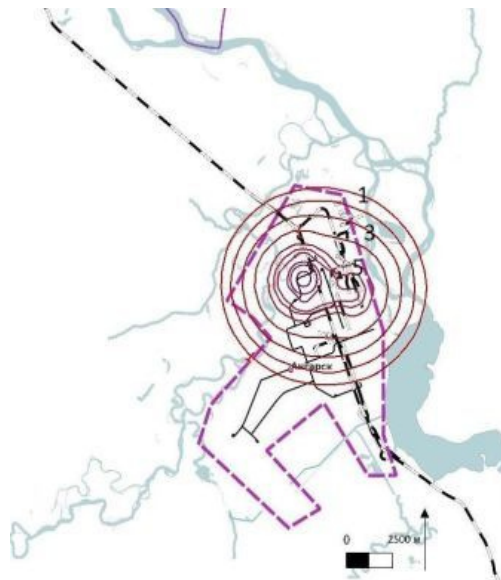


Рисунок 5 – Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Ангарска

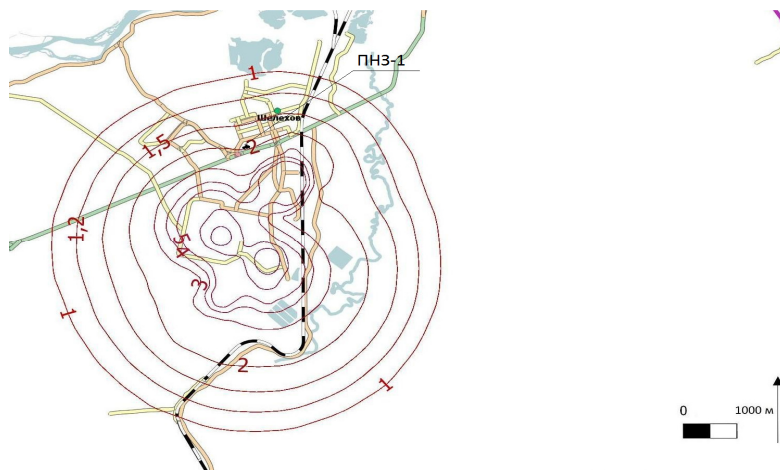


Рисунок 6 – Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Шелехова

Максимальные концентрации, составляющие 20 ПДК_{с.с.}, отмечаются в зимний период в местах расположения крупных промышленных объектов области, например, такие концентрации получены в Ангарске, Шелехове, Братске, на территориях которых размещены Ангарский нефтехимический комбинат, Иркутский алюминиевый завод, Братский алюминиевый завод соответственно. В г. Иркутске выбросы от стационарных источников локализуются над городом и создают концентрации, превышающие установленные нормативы для жилых зон по диоксиду азота в 9 раз (рис. 4). Данный максимум отмечен в северной части города, в районе расположения крупного промышленного предприятия – Иркутского авиационного завода. Максимальные концентрации диоксида азота на территории Ангарска и Шелехова составляют 20 ПДК_{с.с.} и отмечаются в промышленных зонах городов. Жилые территории г. Ангарска подвержены воздействию концентраций, достигающих значения 9 ПДК_{с.с.} (рис. 5), в г. Шелехове максимальная концентрация на территории проживания населения, согласно расчетам, составила 2 ПДК_{с.с.} (рис. 6).

В разделе 3.3 представлены результаты расчета частот превышения загрязняющими веществами нормативов качества атмосферного воздуха, с использованием полуэмпирической модели. В результате расчетов были выявлены превышения по компонентам, соответствующим перечню веществ, полученному при расчетах абсолютных максимальных концентраций. Приведем результаты расчетов по диоксиду азота.

Как уже было отмечено, расчеты абсолютных концентраций выявили превышения предельных концентраций диоксида азота с максимумами в Ангарске, Шелехове, Братске, Железногорске-Илимском, Иркутске (см. рис. 4, 5, 6). Что касается частот превышения, то анализ результатов указывает на то, что данные территории и проживающее на них население подвергаются воздействию повышенных концентраций от 610 до 717 часов в месяц или 25-29 дней. В г. Шелехове максимальная частота превышения составляет 610 часов (25 дней) и наблюдается, как правило, вблизи источников загрязнения. В целом, вся промышленная территория города подвергается воздействию повышенных концентраций в течение 228 часов (9 дней) и более, а жилые зоны – от 48 до 216 часов (от 2 до 9 дней) в месяц (рис. 7). В г. Ангарске максимальная частота превышения ПДК_{с.с.} диоксида азота составляет 717 часов (29 дней) в месяц и наблюдается также вблизи источников загрязнения атмосферы, расположенных в специально отведенной промышленной зоне (рис. 8). Жилая зона, расположенная на севере города и ее центральной части, в непосредственной близости к промплощадке, находится под воздействием повышенных концентраций диоксида азота в течение 248 часов (10 дней) в месяц. Вся остальная территория подвергается влиянию в течение более 144 часов (6 дней) в месяц. Причем концентрации диоксида азота распространяются за пределы границ города. Анализ результатов расчетов частот превышения ПДК_{с.с.} на территории г. Иркутска показал, что повышенные концентрации диоксида азота распространяются на территории, расположенные за границами города, а частота превышения этих концентраций составляет 48 часов (2 суток) в

месяц (рис. 9). Максимум, составляющий 449 часов (18 дней) в месяц, наблюдается, также как и максимум абсолютной концентраций, в северной части города.

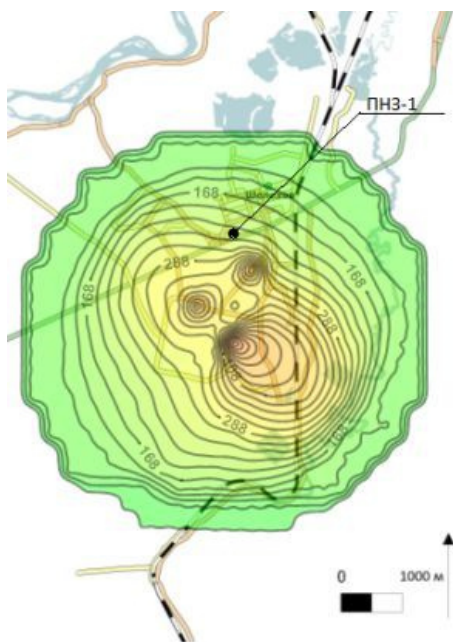


Рисунок 7 – Карта-схема изолиний частот превышения ПДК_{с.с.} (0,04 мг/м³) диоксида азота в декабре на территории г. Шелехова

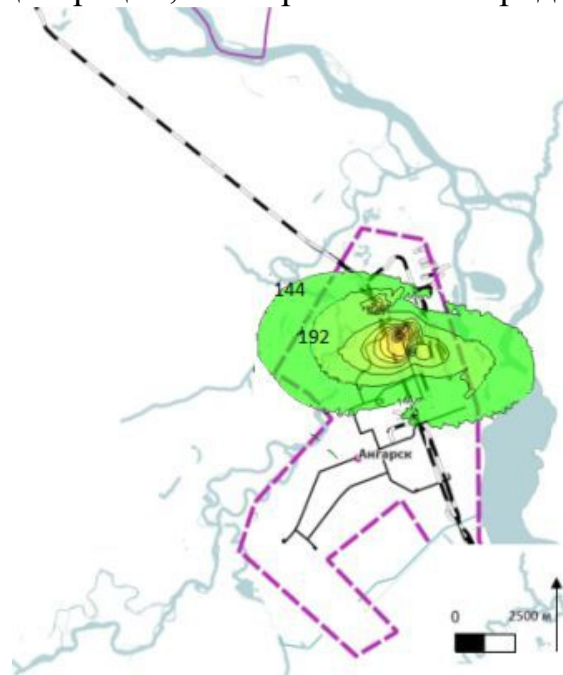


Рисунок 8 – Карта-схема изолиний частот превышения ПДК_{с.с.} (0,04 мг/м³) диоксида азота в декабре на территории г. Ангарска

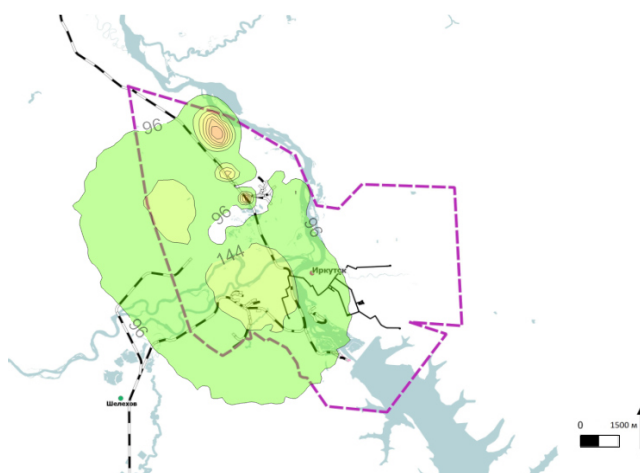
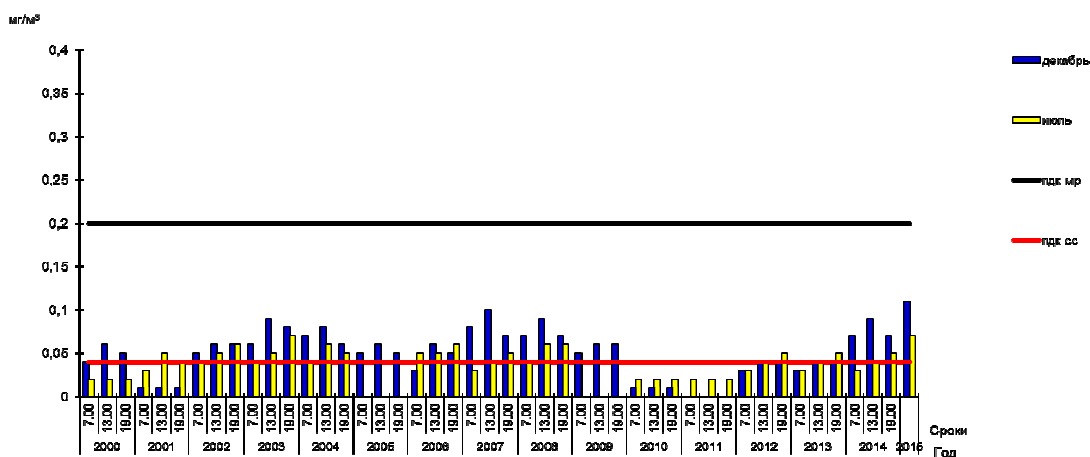


Рисунок 9 – Карта-схема изолиний частот превышения ПДК_{с.с.} (0,04 мг/м³) диоксида азота в декабре на территории г. Иркутска

В разделе 3.4 представлены данные регулярных наблюдений, предоставленные Иркутским УГМС для территорий городов Иркутск и Шелехов, а также дан их сравнительный анализ с результатами расчетов. Анализ данных концентраций диоксида азота на территории г. Иркутска за период с 2000 по 2015 гг. показал, что чаще всего превышения гигиенического норматива ПДК_{с.с.} наблюдаются на ПНЗ-2 – в 82 % наблюдений. Далее по частоте превышения идут ПНЗ-4 – 63 %, ПНЗ-23 – 59 % и ПНЗ-3 – 57 %.

На основе данных дискретных наблюдений в 7.00, 13.00 и 19.00, а также непрерывных автоматических наблюдений, рассчитаны средние значения концентраций (рис. 10). Анализ значений отклонений и коэффициентов вариации свидетельствует о том, что данные наблюдений и рассчитанные на их основе средние концентрации характеризуются удовлетворительной статистической однородностью, за исключением небольшого числа наблюдений, например, в декабре 2001 г., июле 2008 г., декабре и июле 2010 г.



**Рисунок 10 - Динамика усреднённых концентраций диоксида азота в декабре и июле
ПНЗ - 2 – Сквер Кирова**

Неоднородность в данных объясняется проявлением абсолютных максимумов, которые наблюдались не более 1 раза за рассматриваемый период, так максимум концентрации в июле 2008 г. повлиял на неоднородность данных в рассматриваемый период наблюдений, при среднем значении концентрации $0,04 \text{ мг/м}^3$ отклонение от среднего составило $0,06 \text{ мг/м}^3$. Сравнение средних концентраций указывает на преобладание значений зимних концентраций над летними (рис. 10), в отдельные периоды наблюдаются превышения летних концентраций над зимними, что может быть объяснено аномалиями погоды.

Сравнительный анализ расчетных максимальных концентраций и частот превышения нормативов качества среды в точке расположения пункта наблюдений (см. рис. 4) указывает на согласованность полученных данных и данных натурных измерений (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Сводная таблица расчетных данных и данных натурных наблюдений в точке расположения ПНЗ-2

| Зимний период | | Летний период | |
|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Максимальная концентрация, зафиксированная на ПНЗ | Максимальная расчетная концентраций | Максимальная концентрация, зафиксированная на ПНЗ | Максимальная расчетная концентраций |
| $0,32 \text{ мг/м}^3$ | $0,08 \text{ мг/м}^3$ | $0,34 \text{ мг/м}^3$ | $0,06 \text{ мг/м}^3$ |

В то же время абсолютные расчетные максимумы значений концентраций и продолжительности превышения зафиксированы в северной части города, где действующие посты наблюдений за загрязнением атмосферы отсутствуют.

Таблица 2 – Сводная таблица расчетных данных и данных натурных наблюдений в точке расположения ПНЗ-2 (по данным за 2015 г.)

| Зимний период | | Летний период | |
|--|--|--|--|
| Продолжительность превышения, зафиксированная на ПНЗ | Расчетная продолжительность превышения | Продолжительность превышения, зафиксированная на ПНЗ | Расчетная продолжительность превышения |
| 600 часов | 144 часа | 622 часа | 115 часов |

На территории г. Шелехова наблюдения за диоксидом азота осуществляются на двух постах. Анализ данных превышения норматива ПДК_{с.с.} показал, что наиболее часто данные превышения фиксируются на ПНЗ-1 от 50 до 90 % наблюдений. Далее по частоте следует ПНЗ-3.

Анализ отклонений и коэффициента вариации, рассчитанных для данных натурных наблюдений, показал удовлетворяющую статистическую однородность, за исключением данных, полученных в 7.00 апреля 2008 г., 7.00 июля 2008 г.

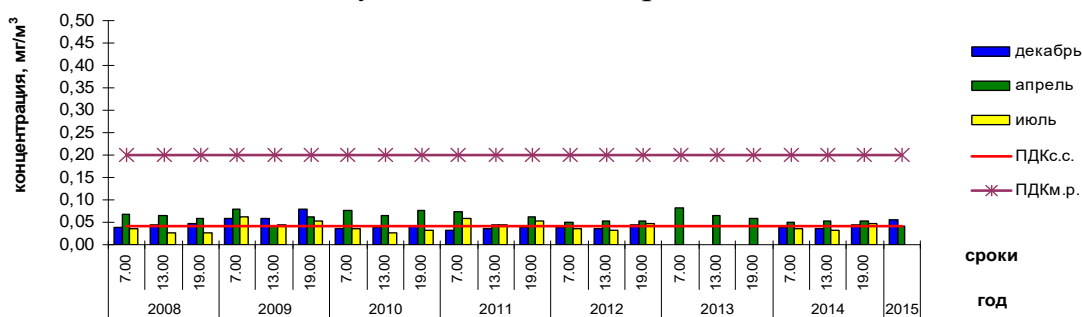


Рисунок 11 - Динамика усредненных концентраций диоксида азота в декабре, апреле и июле на ПНЗ-1

Анализ усредненных данных показал, что в весенний период (апрель) концентрации диоксида азота превышают зимние концентрации (рис. 11). Это объясняется тем, что весной приток солнечной радиации увеличивается, как следствие, фотохимические процессы окисления оксидов азота до диоксидов ускоряются, а выбросы остаются на уровне зимних месяцев. В июле значения концентраций нередко превышают зимние, причиной чего являются также вышеописанные процессы, а также активизация природных источников загрязнения, в частности лесных и торфяных пожаров.

Сравнительный анализ расчетных максимальных концентраций и частот превышения нормативов качества среды в точке расположения пункта наблюдений (см. рис. 6) указывает на согласованность полученных данных и данных натурных измерений (табл. 3, 4).

Таблица 3 – Сводная таблица расчетных данных и данных натурных наблюдений в точке расположения ПНЗ-1

| Зимний период | | Летний период | |
|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Максимальная концентрация, зафиксированная на ПНЗ | Максимальная расчетная концентраций | Максимальная концентрация, зафиксированная на ПНЗ | Максимальная расчетная концентраций |
| 0,35 мг/м ³ | 0,08 мг/м ³ | 0,22 мг/м ³ | 0,05 мг/м ³ |

Таблица 4 – Сводная таблица расчетных данных и данных натурных наблюдений в точке расположения ПНЗ-1 (по данным за 2015 г.)

| Зимний период | | Летний период | |
|--|--|--|--|
| Продолжительность превышения, зафиксированная на ПНЗ | Расчетная продолжительность превышения | Продолжительность превышения, зафиксированная на ПНЗ | Расчетная продолжительность превышения |
| 525 часов | 216 часа | 346 часов | 177 часов |

Основные выводы к третьей главе: На большинстве станций в январе ветер характеризуется неустойчивостью, исключение составляют станции Железногорск-Илимский, Мама, Киренск; в апреле ветер охарактеризовался устойчивостью на станциях Нижнеудинск, Усолье-Сибирское, Киренск, Черемхово, Саянск; в июне – на станциях Усолье-Сибирское, Усть-Илимск, Усть-Кут, Железногорск-Илимский. Самые неблагоприятные условия для рассеяния создаются в январе, наилучшие условия для рассеяния наблюдаются в апреле. Расчет абсолютных концентраций показал, что в зимний период по веществам: диоксид азота, диоксид серы, неорганическая пыль, бенз(а)пирен, оксид азота, сажа максимумы концентраций могут достигать величин, превышающих ПДК_{с.с.} в 20 раз, а частота превышения составляет более 700 часов в месяц; в летний период концентрации снижаются, также как и частоты превышения гигиенических нормативов.

В заключении обобщены основные этапы работ и сформулированы выводы, полученные в результате работы:

1. В исследуемый период (январь, апрель, июнь) на большинстве рассмотренных станций ветер характеризуется неустойчивостью, за исключение в январе северных районов, а в апреле и июне южных и юго-восточных районов области. На территории городов Ангарск, Балаганск, Иркутск, Шелехов ветер характеризуется неустойчивостью во все периоды исследования без исключения, что связано с преобладанием на этих территориях двух направлений ветра: северо-западного и юго-восточного в Иркутске, Ангарске и Шелехове; северного и северо-западного в Балаганске.

2. Построение эллипсов рассеяния ветрового потока, являющихся качественной характеристикой способности атмосферы к самоочищению, и нахождение площадей эллипсов позволило выявить, что самые неблагоприятные условия для рассеяния создаются в январе, характеризующемся большой повторяемостью штилевых ситуаций, способствующих накоплению загрязняющих веществ на подстилающей поверхности; наилучшие условия для рассеяния складываются в апреле – месяце, в котором скорости ветра увеличиваются, а повторяемость штилей уменьшается в 3-4 раза по сравнению с зимними месяцами. Однако увеличение скоростей ветра в весенние месяцы способствует дополнительному поступлению загрязняющих веществ, накопленных в зимний период на подстилающей поверхности и созданию более высоких концентраций, что подтверждается данными, полученными на постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха.

3. Приоритетными вредными веществами, с точки зрения создания высоких уровней загрязнения на территории Иркутской области, являются: диоксиды азота

и серы, сажа, неорганическая пыль с содержанием кремния 20-70 % и менее 20 %, оксид азота, бенз(а)пирен, мазутная зола, а также ряд специфических загрязняющих веществ, среди которых формальдегид, фториды, сероводород и др. вещества.

4. Расчетные абсолютные концентрации загрязняющих веществ, поступающих с выбросами от стационарных источников промышленных предприятий, варьируются по территории области, но в целом указывают на превышение нормативов качества атмосферы (ПДК_{с.с.}) в зимний период: по диоксиду азота в 2-20 раз; диоксиду серы – в 1,5-20 раз; пыли неорганической (с содержанием кремния 20-70 %) – в 1,2-20 раз, с содержанием кремния менее 20 % – в 1,2-10 раз; оксиду азота – 3-20 раз, бенз(а)пирену – 10-20 раз; мазутной золе – 7,4-20 раз.

5. Расчет частот превышения установленных для загрязняющих веществ нормативов показал, что продолжительность действия концентраций, превышающих норматив ПДК_{с.с.} в декабре составляет: по диоксиду азота от 12 до 717 часов (в зависимости от территории); диоксиду серы – 22-720 ч.; саже – 12-712 ч.; пыли неорганической, с содержанием кремния 20-70 % – 12-460 ч.; с содержанием кремния менее 20 % – 12-700 ч.; оксиду азота – 12-720 ч.; бенз(а)пирену – 12-750 ч.; мазутной золе – 12-588 ч.

6. Расчетные абсолютные концентрации и частоты превышения норматива ПДК_{с.с.}, создаваемые выбросами стационарных источников промышленных предприятий в летний период имеют меньшие значения в сравнение с данными, полученными для зимних месяцев, что объясняется, во-первых, снижением выбросов от промышленных предприятий, в частности объектов теплоэнергетики, имеющих наибольший вклад в выбросы на территории Иркутской области, во-вторых, сменой метеорологических условий, благоприятствующих рассеянию загрязняющих веществ.

7. Картирование территории Иркутской области по уровню загрязнения атмосферного воздуха позволило выявить территории с наибольшей антропогенной нагрузкой на воздушный бассейн, среди которых: Иркутск, Ангарск, Шелехов, Братск, Зима.

8. Сравнительный анализ расчетных данных и данных натурных измерений с постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха выявил согласованность полученных результатов, однако для территории г. Иркутска рассчитанные максимумы концентраций и частот превышения обнаружены на территориях, не обустроенных пунктами систематических наблюдений.

9. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ, их статистическая обработка выявила неоднородность данных, получаемых в результате натурных наблюдений на постах слежения за состоянием атмосферы, причиной чего могут быть выбросы от передвижных и природных источников, имеющие случайный характер.

Таким образом, в результате деятельности основных источников поступления загрязняющих веществ на территории Иркутской области – промышленных предприятий, создаются концентрации, значительно превышающие установлен-

ные для них нормативы. Одним из инструментов, посредством которого возможно осуществление контроля качества атмосферного воздуха, выявление нарушений в соблюдении установленных для предприятий предельно-допустимых выбросов, направленных на соблюдение нормативов ПДК, является организация репрезентативной сети наблюдений, включающей подфакельные посты, в местах наибольших значений концентраций, а также частот превышения, установленных для поллютантов гигиенических нормативов.

ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Аргучинцева А.В., Годвинская И.Г., **Ахтиманкина А.В.** Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска / А.В. Аргучинцева, И.Г. Годвинская, А.В. Ахтиманкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2011. – Т.4, №1. – С.33-47.

2. **Ахтиманкина А.В.**, Аргучинцева А.В. Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска / А. В. Ахтиманкина, А. В. Аргучинцева // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2013. – Т. 6, №1. – С. 3-19.

3. Вологжина С.Ж., **Ахтиманкина А.В.** Оценка экологического состояния атмосферного воздуха Южного Прибайкалья / С. Ж. Вологжина А. В. Ахтиманкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» - Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2013. – Т. 6, №2. – С. 76-88.

4. **Ахтиманкина А.В.**, Лопаткина О.А. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина, О.А. Лопаткина // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» - Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2014. – Т. 9. – С. 2-15.

5. **Ахтиманкина А.В.** Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Шелехова / А.В. Ахтиманкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» - Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2015. – Т. 13. – С. 42-57.

6. **Ахтиманкина А.В.** Исследование рассеивающей способности атмосферы Иркутской области / А.В. Ахтиманкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» - Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2016. – Т. 15. – С. 15-27.

Статьи Scopus

7. S. Vologzhina, E. Sutyryna, **A. Akhtimankina.** Zoning of the territory of Irkutsk (Russia) based on integrated assessment of air pollution / Saiana Vologzhina, Ekaterina Sutyryna, Anastasiia Akhtimankina // 14th International multidisciplinary sci-

entific geoconference and EXPO SGEM 2014 / Albena, Bulgaria, 17-26 June, 2016 – pp. 615-622.

8. A. Arguchintseva, S. Vologzhina, E. Sutyryna, **A. Akhtimankina**, N. Novikova. Air pollution integrated evaluation on the example of the territory of the Irkutsk agglomeration (Russia) / Alla Arguchintseva, Saiana Vologzhina, Ekaterina Sutyryna, Anastasiia Akhtimankina, Svetlana Novikova // 16th International multidisciplinary scientific geoconference and EXPO SGEM 2016 / Albena, Bulgaria, 30 June-6 July, 2016 – pp. 219-226.

Другие статьи и материалы конференций

9. **Ахтиманкина А.В.** Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина // Вестник Иркутского университета: ежегод. науч.-теорет. конф. аспирантов и студентов: материалы. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос.ун-та, 2010. – С. 92.

10. **Ахтиманкина А.В.** Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина // Вестник Иркутского университета: ежегод. науч.-теорет. конф. аспирантов и студентов: материалы. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос.ун-та, 2011. – Вып. 14. - С. 73-74 .

11. **Ахтиманкина А.В.** Оценка загрязнения атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска: Материалы I Международной научно-практической конференции «Глобальное измерение в современной науке и образовании», 31 окт. 2011 г. / А.В. Ахтиманкина. – Ростов: Изд-во МИЦ «Научное сотрудничество», 2011. – С.12-22.

12. **Ахтиманкина А.В.** Современное состояние городской среды / А.В. Ахтиманкина // Атлас развития Иркутска. – Иркутск: Изд-во института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 116-117.

13. **Ахтиманкина А.В.** Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина // Вестник Иркутского университета: ежегод. науч.-теорет. конф. аспирантов и студентов: материалы. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос.ун-та, 2013. – С. 39.

14. **Ахтиманкина А.В.** Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина // Проблемы устойчивого развития региона: VII школа-семинар молодых ученых России: Материалы докладов. 26-30 июня 2013 г., Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – С. 96-99

15. **Ахтиманкина А.В.** Оценка состояния атмосферного воздуха крупных промышленных городов (на примере г. Шелехов) / А.В. Ахтиманкина // Экология. Производство. Общество. Человек: XXVI Международная научно-практическая конференция: Сборник статей. 14 апреля, 2014 г., Пенза: Изд-во Приволжский Дом Знаний, 2014. – С. 16-20

16. **Ахтиманкина А.В.**, Волошина В.В. Возможное повышение эффективности пылегазоочистных установок на предприятии ОАО «ИрАЗ-СУАЛ» / А.В. Ахтиманкина, В.В. Волошина // «Экологическая политика: проблемы и пер-

спективы»: материалы II межвузовской студенческой научно-практической конференции. 22 мая 2014 г., Пермь. Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – С. 10-13.

17. **Ахтиманкина А.В.**, Анисимова А.И. Загрязнение грунтовых вод объектом размещения промышленных и твердых бытовых отходов ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» / А.В. Ахтиманкина, А.И. Анисимова // «Экологическая политика: проблемы и перспективы»: материалы II межвузовской студенческой научно-практической конференции. 22 мая 2014 г., Пермь. Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – С. 8-10.

18. **Ахтиманкина А.В.**, Шкутова А.Н. Иркутский авиационный завод как источник загрязнения атмосферного воздуха г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина, А.Н. Шкутова // «Экологическая политика: проблемы и перспективы»: материалы II межвузовской студенческой научно-практической конференции. 22 мая 2014 г., Пермь. Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – С. 17-19.

19. **Ахтиманкина А.В.**, Горбунова О.А. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на древостой городских лесов г. Иркутска / А.В. Ахтиманкина, О.А. Горбунова // «Экологическая политика: проблемы и перспективы»: материалы II межвузовской студенческой научно-практической конференции. 22 мая 2014 г., Пермь. Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – С. 14-16.

20. **Ахтиманкина А.В.**, Сафонова Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями химической промышленности (на примере ОАО «Саянскимпласт») / А.В. Ахтиманкина, Е.В. Сафонова // «Вопросы науки: естественно-научные исследования и технический прогресс»: материалы II международной научно-практической конференции. 28 января 2015 г., Воронеж. Изд-во «ВЭЛБОРН». – С. 58-62.

21. **Ахтиманкина А.В.** Особенности нормирования качества атмосферного воздуха в России и Зарубежных странах / А.В. Ахтиманкина // «Инновационная наука и современное общество»: сборник статей Международной научно-практической конференции. 5 февраля 2015 г., Уфа. Изд-во «АЭТЕРНА». – С. 300-304.

Учебные пособия, монографии

22. Васянович А.В., **Ахтиманкина А.В.** Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды (функции систем управления): учеб. пособие / А.В. Васянович, А. В. Ахтиманкина. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. -133 с.

23. **Ахтиманкина А.В.** Промышленная экология: учеб. пособие / А.В. Ахтиманкина. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 108 с.